



19 BUNDESREPUBLIK
DEUTSCHLAND



DEUTSCHES
PATENTAMT

12 Offenlegungsschrift
10 DE 196 52 423 A 1

51 Int. Cl.⁶:
H 01 L 29/737
H 01 L 21/331
H 01 L 21/205
H 01 L 21/223

21 Aktenzeichen: 196 52 423.7
22 Anmeldetag: 9. 12. 96
43 Offenlegungstag: 10. 6. 98

DE 196 52 423 A 1

71 Anmelder:
Institut für Halbleiterphysik Frankfurt (Oder) GmbH,
15230 Frankfurt, DE

74 Vertreter:
Heitsch, W., Pat.-Anw., 14778 Jeserig

72 Erfinder:
Lippert, Gunther, Dr., 15230 Frankfurt, DE; Osten,
Hans-Jörg, Prof. Dr., 15299 Müllrose, DE;
Heinemann, Bernd, 15234 Frankfurt, DE

56 Für die Beurteilung der Patentfähigkeit in Betracht
zu ziehende Druckschriften:

DE 195 33 313 A1
DE 36 30 282 A1
US 55 57 118
US 53 87 807
US 53 60 986
US 48 85 614
EP 05 81 369 A1
EP 05 52 561 A3
EP 05 52 561 A2

PRINZ, E.J., et.al.: The Effects of Base Dopant
Outdiffusion and Undoped $\text{Si}_{1-x}\text{Ge}_x$ Junction
Spacer Layers in $\text{Si}/\text{Si}_{1-x}\text{Ge}_x/\text{Si}$
Heterojunction Bipolar Transistors. In: IEEE
Elektron Device Letters, Vol. 12, No. 2, Feb. 1991,
S. 42-44;

LIEFTING, Reinoud, et.al.: Improved Device
Performance by Multistep or Carbon Co-Implants.
In: IEEE Transactions on Electron Devices,
Vol. 41, No. 1, Jan. 1994, S. 50-55;
LOMBARDO, S., et.al.: Reduction of secondary
defect
density by C and B implantations in $\text{Ge}_x\text{Si}_{1-x}$
layers formed by high dose Ge implantation in
(100) Si. In: Appl. Phys. Lett. 62, 19,
10. May 1993, S. 2335-2337;
HARAME, D.L., et.al.: Si/SiGe Epitaxial-Base
Transistors-Part I: Materials, Physics, and
Circuits. In: IEEE Transactions on Electron
Devices, Vol. 42, No. 3, March 1995, S. 455-482;
SHAFI, Z.A., et.al.: Analysis and modeling of
the base currents of $\text{Si}/\text{Si}_{1-x}\text{Ge}_x$
heterojunction bipolar transistors fabricated in
high and low oxygen content material. In: J. Ap
pl. Phys. 78, 4, 15. Aug. 1995, S. 2823-2829;
HERBOTS, Nicole, et.al.: The onset of secon
dary phase precipitation during synthesis of
heteroepitaxial $\text{Si}_{1-x}\text{Ge}_x\text{C}_y$ on
 $\text{Si}(100)$. In: Appl. Phys. Letters, Bd. 68, 6, 0
5. Febr. 1996, S. 782-784;
JP 5-102177 A. In: Patents Abstr
acts of Japan, E-1417, Aug. 19, 1993, Vol. 17,
No. 453;

Die folgenden Angaben sind den vom Anmelder eingereichten Unterlagen entnommen

54 Silizium-Germanium-Heterobipolartransistor und Verfahren zur Herstellung der epitaktischen Einzelschichten
eines derartigen Transistors

57 Die Erfindung bezieht sich auf einen Silizium-Germani-
um-Heterobipolartransistor und ein Verfahren zur Her-
stellung der epitaktischen Einzelschichten von einem Sili-
zium-Germanium-Heterobipolartransistor.
Derart hergestellte Silizium-Germanium-Heterobipolar-
transistoren besitzen eine erhöhte Transitfrequenz, eine
erhöhte maximale Schwingfrequenz und/oder ein verrin-
gertes Rauschmaß je nach Anforderungen und Einsatz-
zweck.

Auf eine reine Siliziumoberfläche findet eine einkristalline
Abscheidung entsprechend dem gewünschten Transi-
storprofil statt. Der Silizium-Germanium-Heterobipolar-
transistor enthält ein zusätzliches, elektrisch nicht aktives
Material. Hergestellt wird die Halbleiteranordnung von
Silizium-Germanium-Heterobipolartransistoren mittels
Epitaxieverfahren. Ein in die Epitaxieschicht eingebrach-
tes, elektrisch nicht aktives Material bindet Herstellungs-
defekte und verringert die Diffusion des Dotanden. Damit
lassen sich hochfrequenztaugliche Transistoren auf zwei

Wegen herstellen: Die Dotierungsdosis des Basisgebiets
wird erhöht und/oder die Basisbreite wird verringert.

DE 196 52 423 A 1

Die Erfindung bezieht sich auf einen Silizium-Germanium-Heterobipolartransistor und ein Verfahren zur Herstellung der epitaktischen Einzelschichten von einem Silizium-Germanium-Heterobipolartransistor.

Neben der Verwendung von Galliumarsenid zur Herstellung von Höchstfrequenztransistoren finden auch Silizium-Germanium-Heterobipolartransistoren in hochfrequenten Bereichen infolge der geringeren Herstellungskosten zunehmend Anwendung. Solche Transistoren bestehen meist aus einer Schichtenfolge Silizium-Kollektorschicht, p-dotierte Silizium-Germanium-Basischicht und Emitterschicht.

Die deutsche Offenlegungsschrift DE 43 01 333 A1 beschreibt ein Verfahren zur Herstellung integrierter Silizium-Germanium-Heterobipolartransistoren, bei dem eine Kollektorschicht, eine Basischicht, eine Emitterschicht und eine Emitterschicht mittels eines einzigen unterbrechungsfreien Prozesses abgeschieden und gleichzeitig dotiert werden. Dieses Verfahren zur Herstellung hochfrequenztauglicher Transistoren hat den Nachteil, daß eine weitere Erhöhung der Dotierung der Basis mit Fremdatomen eine bei entsprechender Temperatur stattfindende Dotandenausdiffusion, d. h. eine Verbreiterung des Basisgebiets zur Folge hätte. Eine Dotandenausdiffusion hat einerseits eine nichtkonstante Transistorfertigung und andererseits eine Verringerung der Kollektor- und Emitterschichten zur Folge. Somit ist eine Verbesserung der Hochfrequenzeigenschaften von Transistoren auf diesem Wege nicht möglich.

Die japanische Patentanmeldung JP 5 102 177 beinhaltet einen Silizium-Germanium-Heterobipolartransistor, dessen Basis mit 5% Kohlenstoff zur Kompensation der durch Germanium eingebrachten mechanischen Spannungen versetzt ist. Solche hohen Kohlenstoffkonzentrationen führen jedoch zu einer starken lokalen Gitterdeformation, die unter anderem die HF-Tauglichkeit der Transistoren einschränkt.

In der Patentschrift US 5,378,901 ist ein Siliziumkarbidtransistor offenbart, bei dem als Basis-, Kollektor- und Emitterschicht Siliziumkarbid verwendet wird. Die hohen Herstellungstemperaturen verhindern die Integration in hochfrequenztaugliche Schaltungen.

Aufgabe der Erfindung ist es, einen Silizium-Germanium-Heterobipolartransistor vorzuschlagen, bei dem die Ausdiffusion des Dotanden des Basisgebiets um mehr als 50% gegenüber herkömmlichen Silizium-Germanium-Heterobipolartransistoren reduziert wird. Weiterhin ist es Aufgabe der Erfindung, an sich bekannte Verfahren zur Herstellung der epitaktischen Einzelschichten für einen solchen Silizium-Germanium-Heterobipolartransistor mit einer Silizium-Kollektorschicht, einer dotierten Silizium-Germanium-Basischicht und einer Silizium-Emitterschicht so auszugestalten, daß die üblichen Beschränkungen und hohen Anforderungen für nachfolgende Prozesse verringert werden. Dies betrifft insbesondere die Implantationsdosis und die Temperatur-Zeit-Belastung der epitaktischen Schicht. Derart hergestellte Silizium-Germanium-Heterobipolartransistoren besitzen eine erhöhte Transitfrequenz, eine erhöhte maximale Schwingfrequenz und/oder ein verringertes Rauschmaß je nach Anforderungen und Einsatzzweck.

Diese Aufgabenstellung wird erfindungsgemäß durch die nachfolgende Erfindungsdarlegung gelöst.

Auf eine reine Siliziumoberfläche findet eine einkristalline Abscheidung entsprechend dem gewünschten Transistorprofil statt. Der erfindungsgemäße Silizium-Germanium-Heterobipolartransistor enthält in mindestens einer der drei Einzelschichten des Transistors, nämlich der Emitterschicht oder der Basischicht oder der Kollektorschicht,

in einer Konzentration zwischen 10^{18} cm^{-3} und 10^{21} cm^{-3} ein zusätzliches, elektrisch nicht aktives Material, vorzugsweise ein Element der vierten Hauptgruppe. Hergestellt wird die Halbleiteranordnung von Silizium-Germanium-Heterobipolartransistoren mittels Epitaxieverfahren, z. B. durch Gasphasenepitaxie oder Molekularstrahlepitaxie. Durch die der Epitaxie nachfolgenden technologischen Verfahrensschritte kommt es zu Defekten, z. B. Zwischengitteratomen im Halbleiterkristall, die eine Diffusion von Gitterfremdatomen, z. B. Dotanden, begünstigen. Ein wie bereits ausgeführtes, in die Epitaxieschicht eingebrachtes, elektrisch nicht aktives Material bindet diese Defekte und verringert die Diffusion des Dotanden. Die durch das Einbringen eines elektrisch nicht aktiven Materials, vorzugsweise Kohlenstoff, hervorgerufene Gitteränderung ist dabei kleiner als $5 \cdot 10^{-3}$. Die Ausdiffusion des Dotanden verringert sich, was eine Verbreiterung des Basisgebiets einschränkt. Damit lassen sich hochfrequenztaugliche Transistoren auf zwei Wegen herstellen: Die Dotierungs-dosis des Basisgebiets wird erhöht und/oder die Basisbreite wird verringert. In jedem der möglichen Fälle erhöht sich die Konzentration des Dotanden im Basisgebiet des Transistors auf einen Wert zwischen $5 \cdot 10^{19} \text{ cm}^{-3}$ und 10^{21} cm^{-3} bei Verwendung von Bor als Dotand. Damit verringert sich der Innenwiderstand der Basis. Ausgangspunkt für erfindungsgemäßes Verfahren ist die übliche Herstellung eines vorbehandelten Silizium-Substrats. Das Verfahren ist durch folgende Verfahrensschritte gekennzeichnet: Zuerst wird Silizium zur Herstellung der Kollektorschicht aufgedampft. Anschließend wird beim weiteren Siliziumaufdampfen zusätzlich Germanium eingebracht und mittels Gitterfremdatomen dotiert. Als Dotand findet vorzugsweise Bor Verwendung. Durch diesen Verfahrensschritt wird die Basis hergestellt. Nach dem Abschalten des Zuflusses von Germanium und dem Dotierstoff wird die Emitterschicht durch weiteres Aufdampfen von Silizium hergestellt.

Während mindestens einem der bisher aufgeführten Verfahrensschritte wird ein elektrisch nicht aktives Material, vorzugsweise Kohlenstoff in einer Konzentration zwischen 10^{18} cm^{-3} und 10^{21} cm^{-3} während der Herstellung der epitaktischen Schicht hinzugefügt, wobei die dadurch eingebrachte Gitteränderung kleiner als $5 \cdot 10^{-3}$ infolge der geringen Konzentration des elektrisch nicht aktiven Materials ist. Geringe zusätzliche Gitterverspannung bedeutet keine zusätzliche Quelle von möglichen Gitterdefekten. Zur Herstellung der epitaktischen Schicht finden CVD-Verfahren oder MBE-Verfahren Anwendung. Nach der Epitaxie findet die übliche Weiterprozessierung bis zur Herstellung des endgültigen erfindungsgemäßen Silizium-Germanium-Heterobipolartransistors statt.

Die Merkmale der Erfindung gehen außer aus den Ansprüchen auch aus der Beschreibung und den Zeichnungen hervor, wobei die einzelnen Merkmale jeweils für sich allein oder zu mehreren in Form von Unterkombinationen schutzfähige Ausführungen darstellen, für die hier Schutz beansprucht wird. Ein Ausführungsbeispiel der Erfindung ist in den Zeichnungen dargestellt und wird im folgenden näher erläutert. In den Zeichnungen zeigen:

Fig. 1 schematischer Schichtaufbau eines Silizium-Germanium-Heterobipolartransistors,

Fig. 2 Stufen des Verfahrens zur Herstellung der epitaktischen Einzelschichten für einen Silizium-Germanium-Heterobipolartransistor,

Fig. 3 schematischer Schnitt durch einen Silizium-Germanium-Heterobipolartransistor.

In Fig. 1 ist der Schichtaufbau eines erfindungsgemäßen Silizium-Germanium-Heterobipolartransistors, bestehend aus einem dotierten Silizium-Substrat 1, einer undotierten

Silizium-Kohlenstoff-Kollektorschicht 2, einer dotierten Silizium-Germanium-Kohlenstoff-Basissschicht 3 und einer undotierten Silizium-Kohlenstoff-Emitterschicht 4, dargestellt. Der gesamte Schichtaufbau des Transistors inklusive

Dotierung des Basisgebiets mit Bor wird mittels Molekularstrahlepitaxie hergestellt. Gleichzeitig wird bei der Epitaxie – in diesem Ausführungsbeispiel – während der Herstellung aller drei Einzelschichten, der Kollektorschicht, der Basissschicht und der Emitterschicht, Kohlenstoff in einer Konzentration zwischen 10^{18} cm^{-3} und 10^{21} cm^{-3} zugegeben. Dies entspricht einer Kohlenstoffkonzentration zwischen 0,0015% und 1,5%. Dadurch wird eine mögliche Bordiffusion signifikant verringert, so daß die Dotandenausdiffusionsgebiete 5 im Vergleich zu herkömmlichen Transistoren dieses Typs verkleinert werden. Durch erfindungsgemäße Einfügung von Kohlenstoff verringert sich die Diffusionslänge von Bor um mehr als 50% gegenüber der Diffusionslänge, die ohne Hinzufügung von Kohlenstoff auftritt. Es kommt zur Ausbildung eines sehr steilen Borprofils. Die dadurch verringerte Basisweite hat eine geringere Basislaufzeit zur Folge. Dies ist gleichbedeutend mit einer Erhöhung der Transitfrequenz und der Erhöhung der maximalen Schwingfrequenz bzw. einem verringerten Rauschmaß des erfindungsgemäßen Transistors.

Eine weitere Verbesserung der Hochfrequenztauglichkeit erfindungsgemäßen Silizium-Germanium-Heterobipolartransistors wird durch Erhöhung der Borkonzentration zwischen $5 \cdot 10^{19} \text{ cm}^{-3}$ und 10^{21} cm^{-3} in der Basissschicht 3 erreicht.

Zur Herstellung eines solchen Silizium-Germanium-Heterobipolartransistors werden folgende in Fig. 2 dargestellte Verfahrensschritte durchgeführt: Vor dem erfindungsgemäßen Teil des Verfahrens wird ein vorbehandeltes Silizium-Substrat in einem Verfahrensschritt A₀ üblicherweise hergestellt. Daran schließen sich die Schritte

A Siliziumaufdampfen zur Herstellung der Kollektorschicht,

B Siliziumaufdampfen und zusätzliches Einbringen von Germanium und Dotanden zur Herstellung der Basissschicht und

C Abschalten von Germanium und Dotierstoff und Siliziumaufdampfen zur Herstellung der Emitterschicht an, wobei während mindestens einem der Verfahrensschritte A bis C Kohlenstoff in einer Konzentration zwischen 10^{18} cm^{-3} und 10^{21} cm^{-3} eingebaut wird und die dadurch eingebrachte Gitteränderung kleiner als $5 \cdot 10^{-3}$ ist.

Nach der Epitaxie findet eine übliche Weiterprozessierung D statt bis zur Herstellung eines erfindungsgemäßen Silizium-Germanium-Heterobipolartransistors.

Fig. 3 zeigt einen schematischen Schnitt durch einen derart hergestellten Silizium-Germanium-Heterobipolartransistor. Auf einem hochdotierten Substrat 31 aus Silizium sind durch Epitaxie der undotierte Silizium-Kohlenstoff-Kollektor 32, der undotierte Silizium-Kohlenstoff-Emitter 33 und die mit Bor in einer Konzentration zwischen $5 \cdot 10^{19} \text{ cm}^{-3}$ und 10^{21} cm^{-3} dotierte Basis 34 aus Silizium, Germanium und Kohlenstoff aufgewachsen. Weiterhin beinhaltet die Figur die entsprechenden Kontaktgebiete 35 sowie ein Implantgebiet 36. Die Konzentration des Kohlenstoffs in der epitaktischen Schicht beträgt zwischen 10^{18} cm^{-3} und 10^{21} cm^{-3} .

In der vorliegenden Erfindung wurde anhand eines konkreten Ausführungsbeispiels ein Silizium-Germanium-Heterobipolartransistor sowie ein Verfahren zur Herstellung der epitaktischen Einzelschichten eines solchen Transistors erläutert. Es sei aber vermerkt, daß die vorliegende Erfindung nicht auf die Einzelheiten der Beschreibung im Aus-

führungsbeispiel eingeschränkt ist, da im Rahmen der Patentansprüche Änderungen und Abwandlungen beansprucht werden.

Patentansprüche

1. Silizium-Germanium-Heterobipolartransistor mit einer Silizium-Kollektorschicht, einer dotierten Silizium-Germanium-Basissschicht und einer Silizium-Emitterschicht, **dadurch gekennzeichnet**, daß ein zusätzliches, elektrisch nicht aktives Material, vorzugsweise ein Element der vierten Hauptgruppe, in mindestens einer der drei Einzelschichten des Transistors, nämlich der Emitterschicht und/oder der Basissschicht und/oder der Kollektorschicht, in einer Konzentration zwischen 10^{18} cm^{-3} und 10^{21} cm^{-3} eingebaut ist und die dadurch eingebrachte Gitteränderung kleiner $5 \cdot 10^{-3}$ ist.

2. Silizium-Germanium-Heterobipolartransistor nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß als elektrisch nicht aktives Material Kohlenstoff Verwendung findet.

3. Silizium-Germanium-Heterobipolartransistor nach Anspruch 1 oder 2, dadurch gekennzeichnet, daß die Basissschicht mit Bor dotiert ist und bei einer Konzentration des Dotanden im Basisgebiet zwischen $5 \cdot 10^{19} \text{ cm}^{-3}$ und 10^{21} cm^{-3} in der Epitaxienschicht eine Kohlenstoffkonzentration zwischen 10^{18} cm^{-3} und 10^{21} cm^{-3} vorliegt und dabei die Defektdichte des Transistors kleiner als 10^4 cm^{-2} beträgt.

4. Verfahren zur Herstellung der epitaktischen Einzelschichten für einen im Anspruch 1 gekennzeichneten Silizium-Germanium-Heterobipolartransistor mit einer Silizium-Kollektorschicht, einer dotierten Silizium-Germanium-Basissschicht und einer Silizium-Emitterschicht, dadurch gekennzeichnet, daß während der Herstellung von Einzelschichten, nämlich Emitterschicht (4), Basissschicht (3) und Kollektorschicht (2), in mindestens eine dieser Schichten ein zusätzliches, elektrisch nicht aktives Material, vorzugsweise ein Element der vierten Hauptgruppe, in einer Konzentration zwischen 10^{18} cm^{-3} und 10^{21} cm^{-3} beifügt wird und gleichzeitig die Basissschicht mittels Fremdatomen dotiert wird, wobei die dadurch eingebrachte Gitteränderung kleiner $5 \cdot 10^{-3}$ ist.

5. Verfahren nach Anspruch 4, dadurch gekennzeichnet, daß bei einem Verfahrensschritt (A), nämlich Siliziumaufdampfen zur Herstellung der Kollektorschicht, Kohlenstoff in einer Konzentration zwischen 10^{18} cm^{-3} und 10^{21} cm^{-3} eingebaut wird.

6. Verfahren nach Anspruch 4, dadurch gekennzeichnet, daß bei einem Verfahrensschritt (B), nämlich Siliziumaufdampfen und zusätzliches Einbringen von Germanium und Dotanden zur Herstellung der Basissschicht, Kohlenstoff in einer Konzentration zwischen 10^{18} cm^{-3} und 10^{21} cm^{-3} eingebaut wird.

7. Verfahren nach Anspruch 4, dadurch gekennzeichnet, daß bei einem Verfahrensschritt (C), nämlich Abschalten von Germanium und Dotierstoff und Siliziumaufdampfen zur Herstellung der Emitterschicht, Kohlenstoff in einer Konzentration zwischen 10^{18} cm^{-3} und 10^{21} cm^{-3} eingebaut wird, wobei die dadurch eingebrachte Gitteränderung kleiner $5 \cdot 10^{-3}$ ist.

8. Verfahren nach einem der Ansprüche 5 bis 7, dadurch gekennzeichnet, daß Kohlenstoff in einer Konzentration zwischen 10^{18} cm^{-3} und 10^{21} cm^{-3} bei den Verfahrensschritten (A) und (B) oder den Verfahrensschritten (A) und (C) oder den Verfahrensschritten (B)

und (C) oder den Verfahrensschritten (A) und (B) und (C) eingebaut wird.

9. Verfahren nach einem oder mehreren der Ansprüche 4 bis 8, dadurch gekennzeichnet, daß bei der Herstellung der Basisschicht (3) als Dotand Bor in einer Konzentration zwischen $5 \cdot 10^{19} \text{ cm}^{-3}$ und 10^{21} cm^{-3} Verwendung findet. 5

10. Verfahren nach einem oder mehreren der Ansprüche 4 bis 9, dadurch gekennzeichnet, daß die Herstellung der epitaktischen Schicht im CVD-Verfahren durchgeführt wird. 10

11. Verfahren nach einem oder mehreren der Ansprüche 4 bis 9, dadurch gekennzeichnet, daß die Herstellung der epitaktischen Schicht im MBE-Verfahren durchgeführt wird. 15

Hierzu 1 Seite(n) Zeichnungen

20

25

30

35

40

45

50

55

60

65

- Leerseite -

